(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0174593
(43) 공개일자 2023년12월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G05B 13/04 (2006.01) *F15B 11/06* (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G05B 13/041 (2013.01)
F15B 11/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0075720
(22) 출원일자 2022년06월21일
심사청구일자 2022년06월21일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
주식회사 뉴테스
대전광역시 유성구 테크노2로 170-4(용산동)
(72) 발명자
박승환
세종특별자치시 소담8로 6, 703동 1803호
최재욱
충청남도 금산군 금산읍 방아동2길 30, 605호
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김태완, 이재명

전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 **공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법**

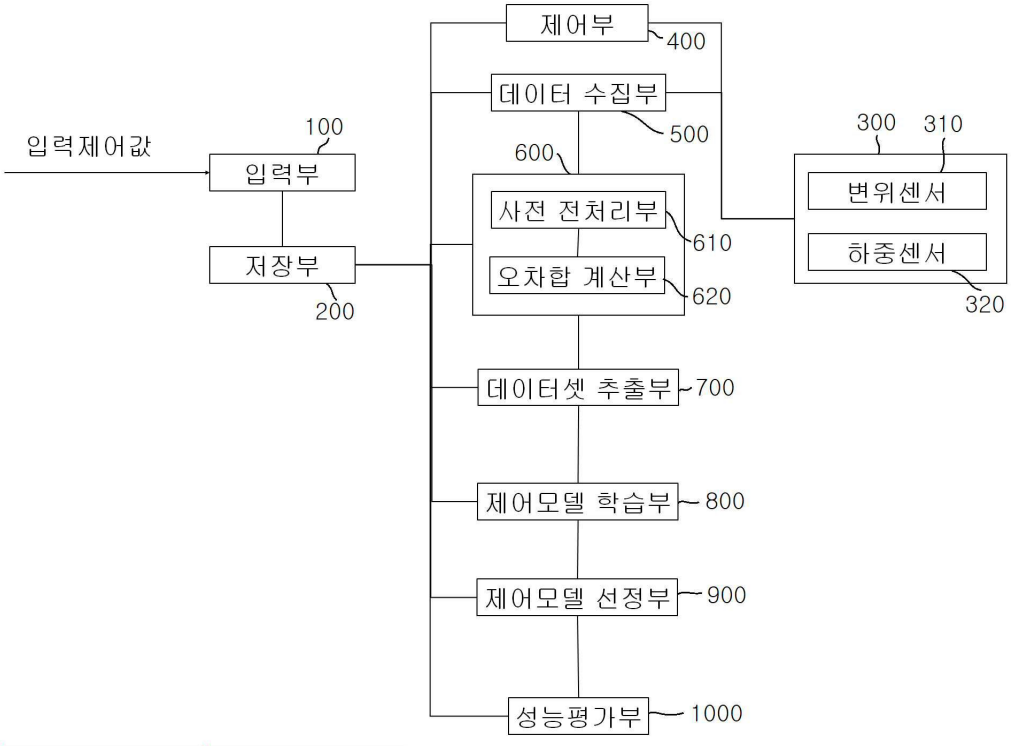
(57) 요 약

본 발명은 공압실린더의 최적 제어 파라미터의 손쉬운 탐지를 도와 보다 높은 정확성을 제공하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법에 관한 것이다.

이를 위하여, 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템에 있어서, 공압실린더에 부착되는 센서부와,

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도1



입력제어값에 따라 구동되는 공압실린더로부터 발생되는 실험 비례값(P1, Proportional) 및 상기 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하는 데이터 수집부와, 상기 입력제어값 및 상기 실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출하는 데이터셋 추출부와, 상기 학습데이터 셋으로 추출된 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하는 제어모델 학습부와, 기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하는 제어모델 선정부를 포함하되, 상기 입력제어값은 상기 공압실린더의 구동시 목표하는 변위값 및 주파수인 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템을 제공한다.

(52) CPC특허분류
G05B 13/0265 (2013.01)
G06N 20/00 (2021.08)

(72) 발명자
이대호
대전광역시 유성구 송강로42번길 61, 207동 905호 (송강동, 청솔아파트)

김봉호
대전광역시 유성구 신성남로 65, 3층

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1425162294
과제번호	S2911855
부처명	중소벤처기업부
과제관리(전문)기관명	중소기업기술정보진흥원
연구사업명	중소기업청(산학연공동기술개발 지원사업)
연구과제명	1톤 용량급 1축 독립 및 다축 연동 제어가 가능한 공압 서보 액추에이터 시스템 국산화 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(주)뉴테스
연구기간	2021.06.22 ~ 2022.06.21

명 세 서

청구범위

청구항 1

공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템에 있어서,

공압실린더에 부착되는 센서부;

입력제어값에 따라 구동되는 공압실린더로부터 발생되는 실험 비례값(P1, Proportional) 및 상기 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하는 데이터 수집부;

상기 입력제어값 및 상기 실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출하는 데이터셋 추출부;

상기 학습데이터 셋으로 추출된 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하는 제어모델 학습부; 및

기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하는 제어모델 선정부를 포함하되,

상기 입력제어값은 상기 공압실린더의 구동시 목표하는 변위값 및 주파수인 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 센서부는,

상기 공압실린더의 변위를 측정하는 변위센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 데이터 수집부에서 수집된 상기 실험데이터를 전처리하는 전처리부를 더 포함하는 것을 특징으로 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 포함하는 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템.

청구항 5

공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법에 있어서,

입력제어값에 따라 구동되는 공압실린더로부터 발생되는 실험 비례값(P1, Proportional) 및 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하는 데이터 수집단계;

상기 입력제어값 및 상기 실험 비례값을 기반으로 학습데이터 셋을 추출하는 데이터셋 추출단계;

상기 학습데이터 셋으로 추출된 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하는 제어모델 학습단계; 및

기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하는 제어모델 선정단계를

포함하되,

상기 데이터 수집단계에서 상기 입력제어값은 상기 공압실린더의 구동시 목표하는 변위값 및 주파수인 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 데이터 수집단계에서 수집된 상기 실험데이터를 전처리하는 전처리단계를 더 포함하는 것을 특징으로 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 데이터셋 추출단계에서 상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 포함하는 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 공압실린더의 최적 제어 파라미터의 손쉬운 탐지를 도와 보다 높은 정확성을 제공하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 피로 시험기를 포함한 시험장비 또는 산업용 장비, 자동화 시설 등 에서는 정밀하고 다양한 변위, 하중 제어가 가능하며 높은 하중을 인가할 수 있는 유압 실린더가 일반적으로 사용되는데, 유압 실린더의 경우, 도입 및 유지보수 비용이 고가이고, 설치공간을 많이 차지하는 문제점이 있다.

[0003] 또한, 유압 실린더에 사용되는 유압유는 온실가스 배출량을 증가시켜 환경오염을 유발할 뿐만 아니라, 반복 시험 중 불순물 유입 등의 이유로 유압유의 오염이 빠르게 진행되며, 사용 용량 10 ton 기준으로 1년에 140리터의 유압유를 사용하는 문제점이 있어, 유압 실린더를 동기 전동기, 공압 실린더 등 다른 방식의 구동기로 대체함으로써 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다.

[0004] 이 중, 공압 실린더는 유압 실린더에 비해 도입 비용이 저렴하고, 한 개의 공압 라인을 이용하여 다수의 장비를 제어할 수 있으므로 확장성과 공간 활용성 측면에서 장점을 가지며, 관련 유틸리티의 구성이 간단하다는 장점이 있다.

[0005] 그러나 공압 실린더는 공기의 압축성으로 인하여 힘과 속도의 고속/ 고정밀 제어가 복잡한 문제뿐만 아니라, 현장에서는 공압 실린더 제어기의 파라미터(gain)를 휴리스틱(heuristic)한 방법으로 설정하고 있어 막대한 시간이 소요되는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2005-0023766호 (발명의 명칭: 실린더 헤드 피로 시험장치, 공개일: 2005년 03월 10일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 상술한 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 공압실린더의 최적 제어 파라미터의 손쉬운 탐지를 도와 보다 높

은 정확성을 제공하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0008] 본 발명의 과제들은 이상에서 언급한 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않는 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상술한 과제를 해결하기 위하여, 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템에 있어서, 공압실린더에 부착되는 센서부와, 입력제어값에 따라 구동되는 공압실린더로부터 발생되는 실험 비례값(P1, Proportional) 및 상기 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하는 데이터 수집부와, 상기 입력제어값 및 상기 실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출하는 데이터셋 추출부와, 상기 학습데이터 셋으로 추출된 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하는 제어모델 학습부와, 기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하는 제어모델 선정부를 포함하되, 상기 입력제어값은 상기 공압실린더의 구동시 목표하는 변위값 및 주파수인 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템을 제공한다.

[0010] 여기서, 상기 센서부는 상기 공압실린더의 변위를 측정하는 변위센서를 포함할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 데이터 수집부에서 수집된 상기 실험데이터를 전처리하는 전처리부를 더 포함할 수 있다.

[0012] 또한, 상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 포함할 수 있다.

[0013] 또한, 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법에 있어서, 입력제어값에 따라 구동되는 공압실린더로부터 발생되는 실험 비례값(P1, Proportional) 및 상기 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하는 데이터 수집단계와, 상기 입력제어값 및 상기 실험 비례값을 기반으로 학습데이터 셋을 추출하는 데이터셋 추출단계와, 상기 학습데이터 셋으로 추출된 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하는 제어모델 학습단계와, 기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하는 제어모델 선정단계를 포함하되, 상기 데이터 수집단계에서 상기 입력제어값은 상기 공압실린더의 구동시 목표하는 변위값 및 주파수인 것을 특징으로 하는 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법을 제공한다.

[0014] 여기서, 상기 데이터 수집단계에서 수집된 상기 실험데이터를 전처리하는 전처리단계를 더 포함할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 데이터셋 추출단계에서 상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.

[0017] 첫째, 공압 실린더를 사용한 제어 대상물의 특성을 고려한 제어 조건에 따라 최적의 파라미터를 제공할 수 있는 이점이 있다.

[0018] 둘째, 피로시험 이외에 공압실린더가 적용되는 장치에 부착되어, 공압실린더를 최적 조건으로 제어할 수 있는 이점이 있다.

[0019] 셋째, 최적의 파라미터를 제공받음에 따라, 공압실린더를 사용하는 사용자의 숙련도에 국한되지 않으며, 비 숙련자의 최적 제어 파라미터의 손쉬운 탐지를 도와 피로시험의 보다 높은 정확성을 제공하고, 피로시험의 소요시간이 단축되는 이점이 있다.

[0020] 넷째, 소형, 경량이고 친환경적이며 정전기 발생이 없는 공압 실린더로 피로시험기의 구동기를 구동함에 따라 환경오염을 방지할 수 있는 이점이 있다.

[0021] 본 발명의 효과들은 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 효과들은 청구범위의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 개략도를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터 수집부에서 수집된 실험데이터의 예시를 도시한 도면이다.

도 3은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 전처리부에서 실험데이터를 전처리하는 예시를 도시한 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터셋 추출부에서 학습데이터 셋을 추출하는 예시를 도시한 도면이다.

도 5는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터셋 추출부에서 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 구성하는 예시를 도시한 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 각 변위별 주파수에 따른 실제 및 예측값을 도시한 도면이다.

도 7 및 도 8은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 성능평가를 도시한 도면이다.

도 9는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법의 단계를 도시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0024] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0025] 어떠한 구성 요소가 다른 구성 요소에 “연결되어” 있다거나 “접속되어” 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떠한 구성 요소가 다른 구성요소에 “직접 연결되어” 있다거나 또는 “직접 접속되어” 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다. 구성 요소들 간의 관계를 설명하기 위한 다른 표현들도 마찬가지로 해석되어야 한다.

[0026] 본 명세서에서 사용되는 기술적이거나 과학적인 용어를 포함한 모든 용어들은, 다르게 정의되지 않는 한 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 명세서에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0027] 도 1은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 개략도를 도시한 도면으로, 도 1에 따르면, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템은 입력부(100), 저장부(200), 센서부(300), 제어부(400), 데이터 수집부(500), 전처리부(600), 데이터셋 추출부(700), 제어모델 학습부(800), 제어모델 선정부(900) 및 성능평가부(1000)를 포함한다.

[0028] 먼저, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템은 공압실린더와 연동된 컴퓨터, PC 등의 여러 종류의 단말기에서 운용되는 관리서버 및 저장매체 등에 저장되거나, 관련 사이트에서 다운로드 받아 사용될 수 있으며, 일 예로 피로 시험 대상의 재료별 특성을 고려한 제어 조건에 따라 최적의 파라미터를 제공할 수 있다.

[0029] 상기 입력부(100)는 입력제어값이 입력되며, 상기 입력제어값은 상기 공압실린더를 구동하기 위한 주파수별 변위제어값에 해당하는 변위값 및 주파수를 포함할 뿐만 아니라, 다양한 기계학습 모델, 전처리 알고리즘, 성능평가 알고리즘 등을 포함할 수 있다.

[0030] 상기 저장부(200)는 상기 입력부(100)로부터 입력되는 상기 입력제어값을 저장하며, 후술하는 상기 제어부

(400), 상기 데이터 수집부(500), 상기 전처리부(600), 상기 데이터셋 추출부(700), 상기 제어모델 학습부(800), 상기 제어모델 선정부(900) 및 상기 성능평가부(1000)와 연동되어, 상기 입력제어값을 제공한다.

[0031] 상기 센서부(300)는 상기 공압실린더에 부착되어 상기 공압실린더의 구동에 따른 상기 공압실린더의 실험데이터를 센싱하며, 구체적으로 상기 센서부(300)는 변위센서(310) 및 하중센서(320)를 포함한다.

[0032] 상기 변위센서(310)는 상기 공압실린더의 구동에 따른 실제변위값을 측정하며, 일 예로 상기 변위센서(310)는 LVDT(Linear Variable Displacement Transducer)일 수 있다.

[0033] 상기 하중센서(320)는 상기 공압실린더의 구동에 따른 실제하중값을 측정하고, 일 예로 상기 하중센서(320)는 로드셀(Load Cell)일 수 있다.

[0034] 상기 제어부(400)는 상기 입력제어값에 따라 상기 공압실린더가 구동되도록 상기 공압실린더를 제어할 뿐만 아니라, 상기 공압실린더의 구동에 따라 출력되는 실험데이터를 전달받아 상기 전처리부(600)로 전달한다.

[0035] 상기 데이터 수집부(500)는 상기 입력제어값에 따라 상기 공압실린더의 구동에 의해 발생되는 비례값(P1, Proportional) 및 상기 센서부(300)로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집하며, 상기 데이터 수집부(500)의 상세한 설명은 도 2를 참조하여 후술하도록 한다.

[0036] 상기 전처리부(600)는 상기 데이터 수집부(500)에서 수집된 상기 실험데이터를 데이터셋으로 추출할 수 있도록 전처리하며, 상기 전처리부(600)의 상세한 설명은 도 3을 참조하여 후술하도록 한다.

[0037] 상기 데이터셋 추출부(700)는 전처리된 상기 실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출하며, 상기 데이터셋 추출부(700)의 상세한 설명은 도 4 및 도 5를 참조하여 후술하도록 한다.

[0038] 상기 제어모델 학습부(800)에서는 상기 학습데이터 셋을 복수종류의 기계학습 모델로 기계학습을 진행하며, 상기 입력제어값을 입력값으로, 상기 실험 비례값을 출력값으로 반영하여 복수종류의 기계학습 모델의 기계학습을 진행하고, 복수종류의 상기 기계학습 모델은 상기 저장부(200)에 저장된 다양한 기계학습 모델을 전달받아 수행한다.

[0039] 여기서, 상기 기계학습 모델은 Linear Regression, Polynomial Regression, Support Vector Regression, Decision Tree, Random Forest, XGBoost을 포함하며, 상기 기계학습 모델은 상술한 모델에 한정되지 아니하며, 공압실린더의 파라미터 제어를 위한 최적화에 적용될 수 있는 기계학습 모델로 대체될 수 있다.

[0040] 상기 제어모델 선정부(900)에서는 동일한 입력제어값에 대하여, 상기 제어모델 학습부(800)에서 기계학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값과 상기 실험 비례값의 비교를 기반으로 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정하며, 구체적으로 상기 제어모델 선정부(900)에서는 수학식 1의 결정계수(Coefficient of Determination) R^2을 사용하여 상기 기계학습 모델별 정확도를 판별할 수 있다.

수학식 1

[0041] $$R^2 = 1 - \frac{\sum (t_i - y_i)^2}{\sum (t_i - \bar{t_i})^2}$$

[0042] 상기 수학식 1에서, t_i는 실제 값, y_i는 기계학습 모델로부터 추정된 예측 값, $\bar{t_i}$는 실제 값의 평균치를 의미한다.

[0043] 이때, R^2 값 1.0인 경우 기계학습 모델로부터 추정된 예측 값이 실제 값과 정확히 일치하는 것을 의미하며, 각각의 기계학습 모델로부터 산출된 제어 파라미터의 정확도 분석결과는 아래 표 1과 같이 정리된다.

표 1

[0044]

	Linear Regression		Polynomial Regression		Support Vector Regression		Decision Tree		Random Forest		XGBoost	
	Training	Test	Training	Test	Training	Test	Training	Test	Training	Test	Training	Test
Data Set 1	0.599	0.533	0.779	0.741	0.753	0.693	0.947*	0.807	0.946	0.812*	0.947	0.705
Data Set 2	0.569	0.308	0.766	0.643	0.810	-0.129	0.942*	0.706	0.940	0.725*	0.942	0.705

[0045] 표 1에 서술된 바와 같이, 다양한 기계학습 모델(Linear Regression, Polynomial Regression, Support Vector Regression, Decision Tree, Random Forest, XGBoost)로 모델링된 제어 모델을 학습데이터 셋에 포함되는 트레이닝 값(Training)과 학습데이터 셋에 포함되지 않는 테스트 값(Test)으로 분류하여 각각의 정확도를 확인하였다.

[0046] 상기 다양한 기계학습 모델 중 테스트 값이 1과 가장 가까운 Random Forest 기계학습 모델의 R^2 값이 1과 가장 가까운 값을 나타내 내삽 및 외삽 성능이 우수한 것을 확인할 수 있으며, 결과적으로 기계학습을 수행한 Random Forest을 제어 최적화 모델로 선정한다.

[0047] 상기 성능평가부(1000)에서는 선정된 상기 제어 최적화 모델의 예측값과 실제 실험값을 비교하여 상기 제어 최적화 모델의 성능을 평가하며, 상기 성능평가부(1000)에서 수행한 상기 제어 최적화 모델의 성능을 평가 결과는 도 6을 참조하여 후술하도록 한다.

[0048] 도 2는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터 수집부(500)에서 수집된 실험데이터의 예시를 도시한 도면이다.

[0049] 상기 제어부(400)의 제어에 따라 상기 공압실린더를 입력제어값, 즉, 상기 저장부(200)에 저장된 주파수별 변위 제어값에 따라 구동시켜 상기 데이터 수집부(500)에서 실제 변위 및 주파수를 포함하는 실험데이터를 수집한다.

[0050] 일 예로, 상기 주파수별 변위제어값은 1~10Hz 범위의 주파수의 1Hz 간격마다 3~15㎜ 범위의 변위값을 1㎜ 간격으로 제어 파라미터를 조정하면서 상기 공압실린더를 구동시키며, 상기 센서부(300)가 센싱한 실험데이터를 수집할 수 있다.

[0051] 또한, 상기 공압실린더의 구동에 따라 공압실린더의 구동에 의해 발생되는 비례값(P1, Proportional)의 값을 동시에 수집한다.

[0052] 도 3은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 전처리부(600)에서 실험데이터를 전처리하는 예시를 도시한 도면으로, 상기 전처리는 상기 데이터 수집부(500)에서 수집된 상기 실험데이터를 데이터셋으로 추출하도록 전처리하되, 구체적으로 상기 전처리부(600)는 사전 전처리부(610) 및 오차합 계산부(620)를 포함한다.

[0053] 상기 사전 전처리부(610)는 원시데이터 형식의 상기 실험데이터를 파이썬(phthon)으로 전처리한다.

[0054] 상기 오차합 계산부(620)는 상기 사전 전처리부(610)에서 전처리된 상기 실험데이터와 상기 입력제어값의 오차합을 계산한다.

[0055] 수집된 상기 실험데이터에서 최적 파라미터 도출을 위해서는 목표 및 실제 파형/진폭이 가장 유사한 시점(최적 제어 시점)을 찾아야 하며, 이를 위하여, 전체 제어 과정에서 신호의 주기마다 각 시점 오차(Error)들을 합한 오차합(Error-sum)을 계산해야 하지만, 두 신호의 시간 지연 문제로 인해 단순히 같은 시점의 오차 계산법으로는 정확한 오차합 계산이 어려운 문제점이 있다.

[0056] 따라서, 일 예로 도 3의 도시와 같이, 3Hz 주파수의 3㎜ 변위값일 경우, 정확한 오차합 계산을 위해 DTW(Dynamic Time Warping) 거리 계산법을 이용한 오차합 계산을 수행한다.

[0057] 도 4는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터셋 추출부(700)에서 학습데이터 셋을 추출하는 예시를 도시한 도면이다.

[0058] 상기 데이터셋 추출부(700)는 상기 오차합 계산부(620)에서 계산된 오차합이 최소가 되는 시점의 실험데이터를 추출하여 상기 학습데이터 셋을 구성한다.

[0059] 즉, 상기 오차합 계산부(620)에서 계산된 오차합을 기준으로, 상기 오차합이 최소가 되는 시점의 데이터, 즉, 변위, 주파수를 포함하는 제어 조건과, 비례값(P1)을 도출하여 정리함으로써 상기 학습데이터 셋을 구성한다.

[0060] 도 5는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 데이터셋 추출부(700)에서 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 구성하는 예시를 도시한 도면이다.

[0061] 상기 학습데이터 셋은 기계학습을 위한 트레이닝 세트(Training Set, 트레이닝 값)와 시험을 위한 테스트 세트(Test Set, 테스트 값)로 분류 된다.

[0062] 즉, 도 5의 (a)의 도시와 같이, 상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋을 구성하기 위하여 기계학습을 위한 트레이닝 세트와 시험을 위한 테스트 세트로 분류하고, 도 5의 (b)의 도시와 같이, 외삽 검증용 데이터 셋을 구성하기 위하여 기계학습을 위한 트레이닝 세트와 시험을 위한 테스트 세트로 분류하여 구성됨으로써 효과적인 모델 검증을 수행할 수 있게 된다.

[0063] 도 6은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 각 변위별 주파수에 따른 실제 및 예측값을 도시한 도면이다.

[0064] 도 6의 도시와 같이, 각 변위별 주파수에 따른 실제값(Actual)과 테스트 세트의 예측값(Predicted)을 시각화 한 결과 유사한 양상의 결과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

[0065] 도 7 및 도 8은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템의 성능평가를 도시한 도면이다.

[0066] 먼저, 도 7은 테스트 세트에서 샘플을 무작위로 뽑아 변위 및 주파수 파라미터에 부합되는 실험 조건에 해당하는 입력제어값을 각각의 기계학습 모델에 입력하고, 각각의 기계학습 모델로부터 출력되는 학습모델 비례값인 예측값(Reference)과 실험 조건에 해당하는 입력제어값을 상기 공압실린더에 입력하여, 상기 공압실린더의 구동에 따라 출력되는 실험 비례값인 실제 실험값(Actual)을 비교한 것으로, 도 7의 도시와 같이, 예측값(Reference)의 파형은 목표 변위(실제 실험값)와 일부 오차가 있는 것으로 확인되지만, 목표 파형과 유사한 의미 있는 파형 생성하는 것을 확인할 수 있으며, 이후 사용자가 파라미터 값(P1)을 조정하며 제어시간을 측정함에 따라 피로시험의 소요 시간을 단축시킬 수 있게 된다.

[0067] 도 8은 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템으로부터 도출된 제어 최적화 모델(Predicted P1)을 적용한 경우 최적 제어 도달시간(With Model)과 적용하지 않은 경우(Optimal P1) 최적 제어 도달시간(Without Model)을 비교한 결과를 도시한 도면으로, 도 8의 도시와 같이, 제어 최적화 모델을 적용하여 공압실린더를 제어할 경우, 더 빠른 최적 제어에 도달할 수 있는 것을 확인할 수 있다.

[0068] 결과적으로, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템을 통해 공압실린더를 구동하기 위한 초기값의 파라미터를 제공할 수 있게 됨에 따라, 일 예로 피로시험기에 적용될 경우, 사용하는 사용자의 숙련도에 국한되지 않으며, 비 숙련자의 최적 제어 파라미터의 손쉬운 탐지를 도와 피로시험의 보다 높은 정확성을 제공하고, 피로시험의 소요 시간이 단축을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 공압실린더를 활용하는 장치에 모두 적용 가능하다.

[0069] 또한, 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법은 상술한 주파수 및 변위를 입력제어값으로 적용하여 주파수별 변위제어값을 기계 학습 방법에 적용함에 따라 공압 실린더를 제어하기 위한 제어 최적화 모델을 선정한 것과 동일하게, 주파수 및 하중을 입력제어값으로 적용하여, 주파수별 하중제어값을 기계 학습 방법을 적용함에 따라 공압 실린더를 제어하기 위한 제어 최적화 모델을 선정할 수 있다.

[0070] 도 9는 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법의 단계를 도시한 도면으로, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법은 상술한 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템을 기반으로 수행된다.

[0071] 도 9에 따르면, 본 발명에 따른 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법은 입력단계(S100), 저장단계(S200), 데이터 수집단계(S300), 전처리단계(S400), 데이터셋 추출단계(S500), 제어모델 학습단계(S600), 제어모델 선정단계(S700) 및 성능평가단계(S800)를 포함한다.

[0072] 상기 입력단계(S100)에서는 상기 입력부(100)에 입력제어값이 입력되며, 상기 입력제어값은 상기 공압실린더를 구동하기 위한 주파수별 변위제어값, 다양한 기계학습 모델, 전처리 알고리즘, 성능평가 알고리즘 등을 포함할 수 있다.

[0073] 상기 저장단계(S200)에서는 상기 입력부(100)로부터 입력되는 상기 입력제어값이 상기 저장부(200)에 저장된다.

[0074] 상기 데이터 수집단계(S300)에서는 상기 데이터 수집부(500)가 상기 입력제어값에 따라 상기 공압실린더의 구동에 의해 발생되는 비례값(P1, Proportional) 및 상기 공압실린더에 부착되는 센서부(300)로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집한다.

[0075] 상기 전처리단계(S400)에서는 상기 전처리부(600)가 상기 실험데이터를 전처리하며, 구체적으로 상기 전처리단계(S400)는 사전 전처리단계 및 오차합 계산단계를 포함한다.

[0076] 상기 사전 전처리단계에서는 상기 사전 전처리부(610)가 상기 실험데이터를 파이썬(phthon)으로 전처리한다.

[0077] 이후, 상기 오차합 계산단계에서는 상기 오차합 계산부(620)가 상기 사전 전처리단계에서 전처리된 상기 실험데이터의 오차합을 계산한다.

[0078] 상기 데이터셋 추출단계(S500)에서는 상기 데이터셋 추출부(700)가 전처리된 상기 실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출하며, 상기 데이터셋 추출단계(S500)에서 상기 학습데이터 셋은 내삽 검증용 데이터 셋 및 외삽 검증용 데이터 셋을 포함한다.

[0079] 상기 제어모델 학습단계(S600)에서는 상기 제어모델 학습부(800)가 상기 학습데이터 셋을 복수종류의 기계학습 모델로 기계학습을 진행한다.

[0080] 상기 제어모델 선정단계(S700)에서는 상기 제어모델 선정부(900)가 상기 제어모델 학습단계(S600)에서 학습된 상기 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정한다.

[0081] 상기 성능평가단계(S800)에서는 상기 성능평가부(1000)가 선정된 상기 제어 최적화 모델의 예측값과 실제 실험값을 비교하여 상기 제어 최적화 모델의 성능을 평가한다.

[0082] 이 외, 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 방법의 상세 설명은 상술한 본 발명은 공압실린더 제어 파라미터 최적화 시스템과 대응되므로, 이에 대한 설명은 생략한다.

[0083] 상술한 바와 같이 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였지만, 본 발명은 상술한 특정의 실시예에 한정되지 아니하며, 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 이러한 변형실시예들은 본 발명의 기술적 사상이나 전망으로부터 개별적으로 이해되어서는 안 될 것이다.

부호의 설명

[0084] 100: 입력부

200: 저장부

300: 센서부

310: 변위센서

320: 하중센서

400: 제어부

500: 데이터 수집부

600: 전처리부

610: 사전 전처리부

620: 오차합 계산부

700: 데이터셋 추출부

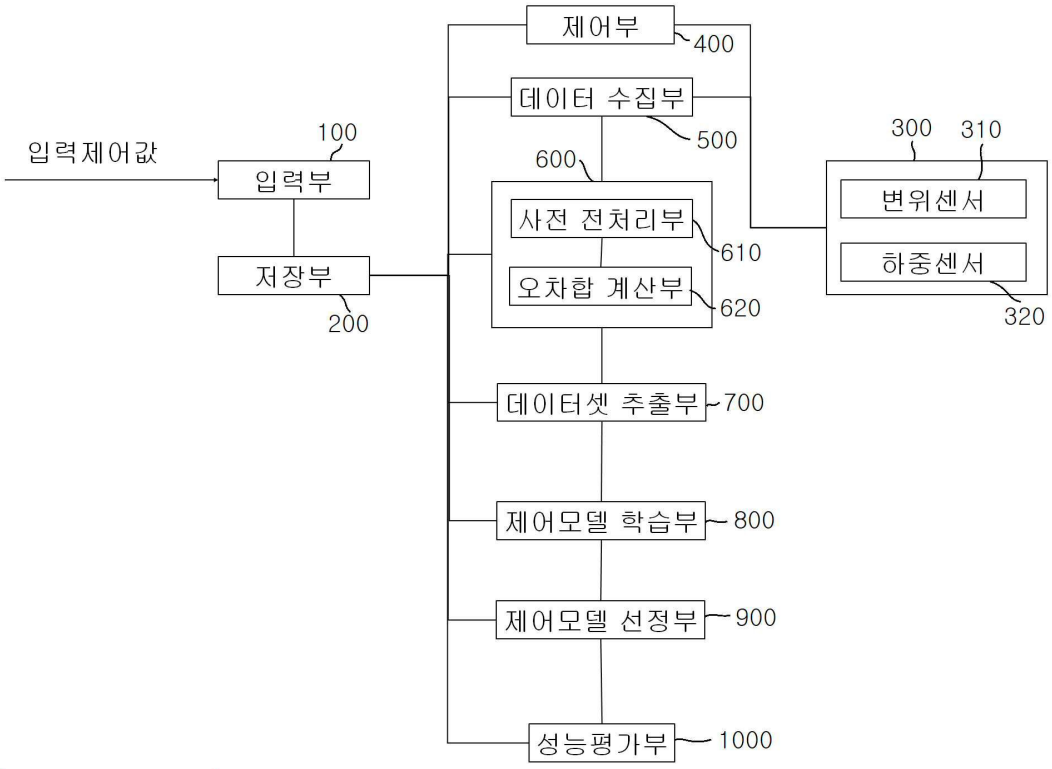
800: 제어모델 학습부

900: 제어모델 선정부

1000: 성능평가부

도면

도면1



도면2

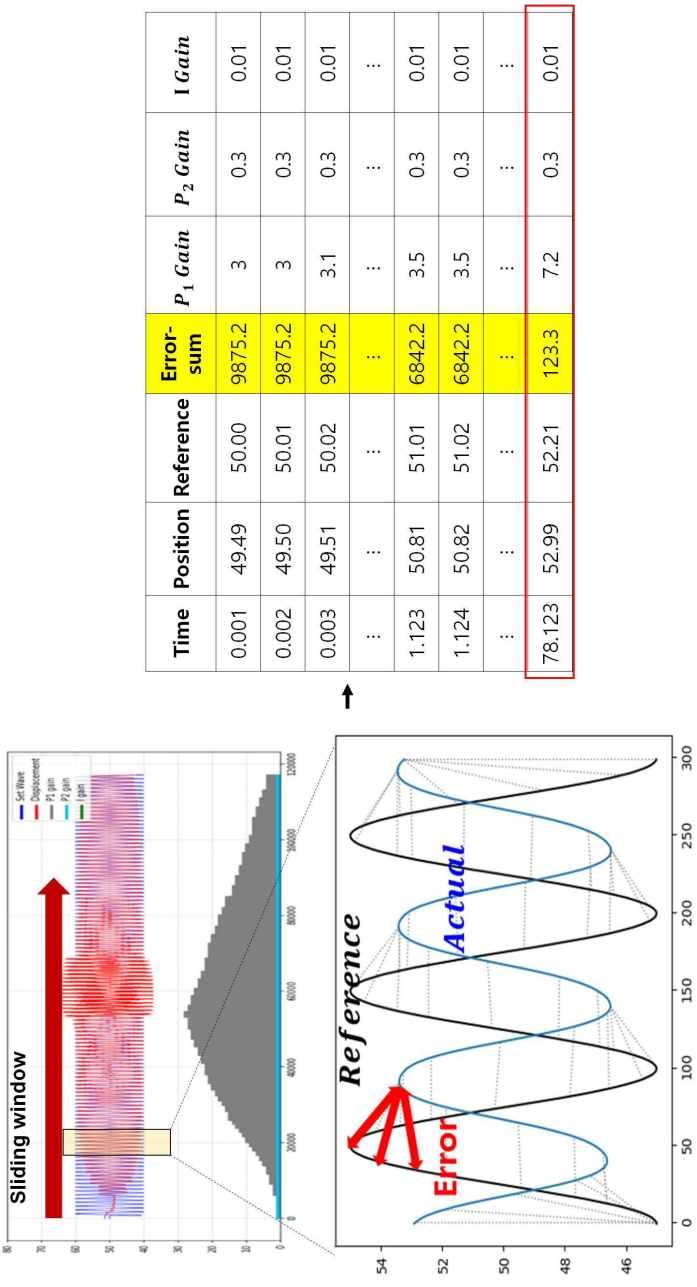
3mm, 2Hz

10mm, 7Hz

15mm, 10Hz

Time	Position	Reference	P_1 Gain	P_2 Gain	I Gain
0.001	49.49	50.00	3	0.3	0.01
0.002	49.50	50.01	3	0.3	0.01
0.003	49.51	50.02	3.1	0.3	0.01
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1.123	50.81	51.01	3.5	0.3	0.01
1.124	50.82	51.02	3.5	0.3	0.01
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

도면3

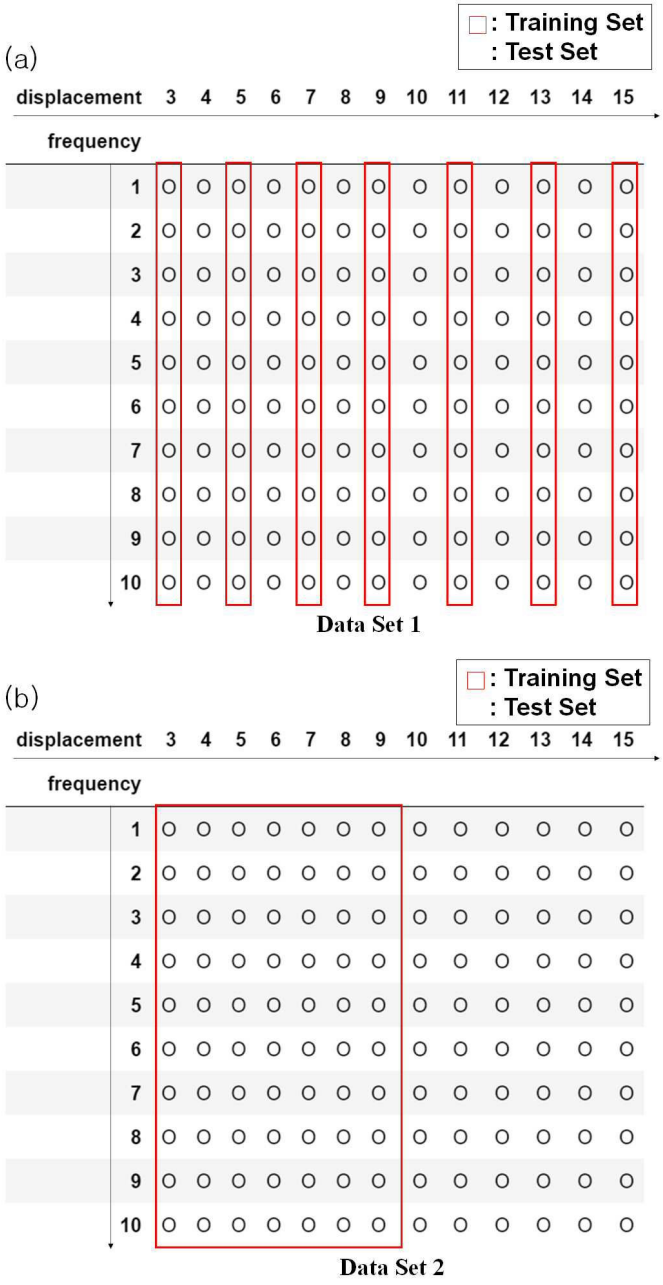

Time
Position
Reference
Error-sum
P_1 Gain
P_2 Gain
I Gain
0.001 49.49 50.00 9875.2 3 0.3 0.01
0.002 49.50 50.01 9875.2 3 0.3 0.01
0.003 49.51 50.02 9875.2 3.1 0.3 0.01
1.123 50.81 51.01 6842.2 3.5 0.3 0.01
1.124 50.82 51.02 6842.2 3.5 0.3 0.01
78.123 52.99 52.21 123.3 7.2 0.3 0.01
Sliding window
Reference
Actual
Error

도면4

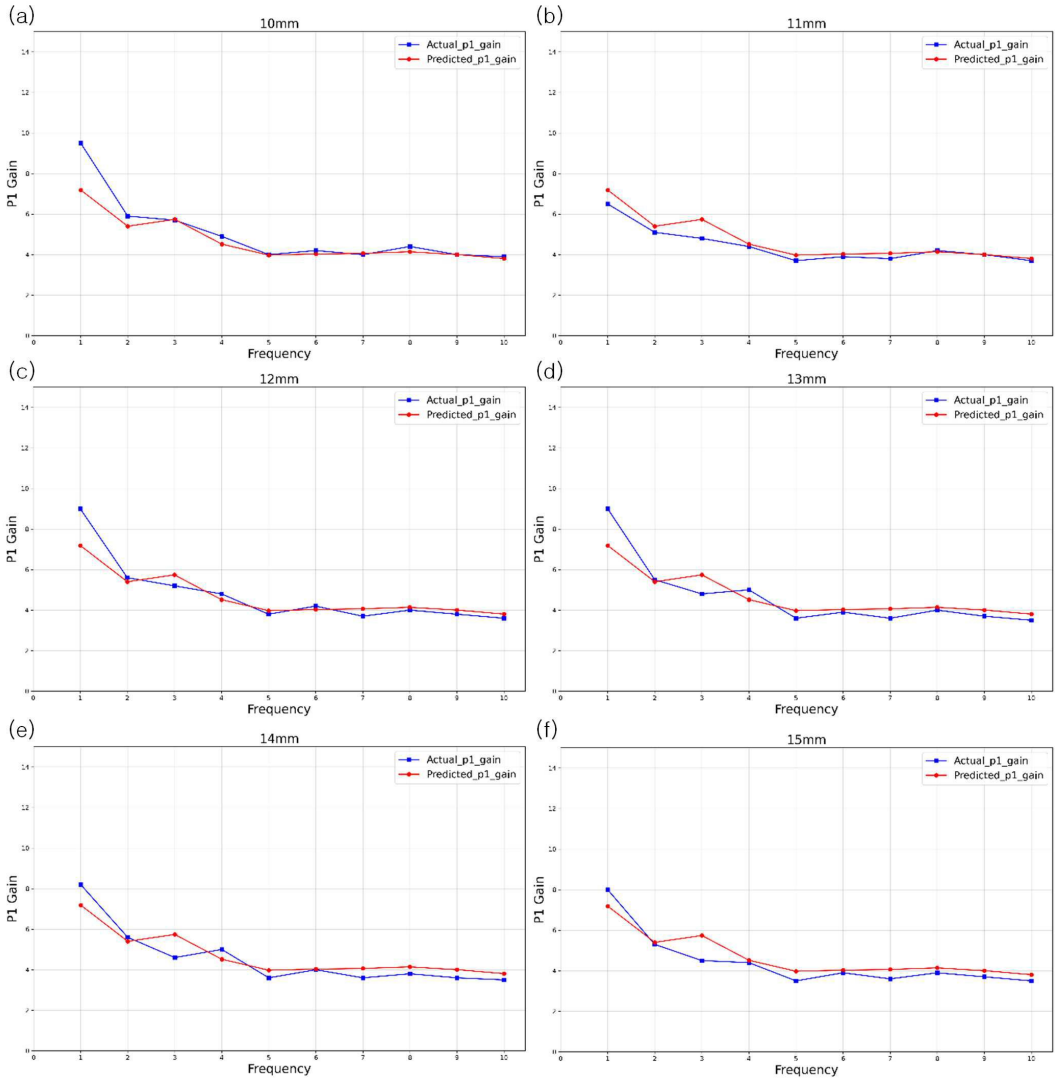
Time	Position	Reference	Error-sum	P_1 Gain	P_2 Gain	I Gain
0.001	49.49	50.00	9875.2	3	0.3	0.01
0.002	49.50	50.01	9875.2	3	0.3	0.01
0.003	49.51	50.02	9875.2	3.1	0.3	0.01
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1.123	50.81	51.01	6842.2	3.5	0.3	0.01
1.124	50.82	51.02	6842.2	3.5	0.3	0.01
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
78.123	52.99	52.21	123.3	7.2	0.3	0.01

Frequency	Displacement	Optimal P_1
1Hz	3mm	10.3
2Hz	3mm	8.5
3Hz	3mm	7.2
⋮	⋮	⋮
8Hz	15mm	3.8
9Hz	15mm	3.7
⋮	⋮	⋮

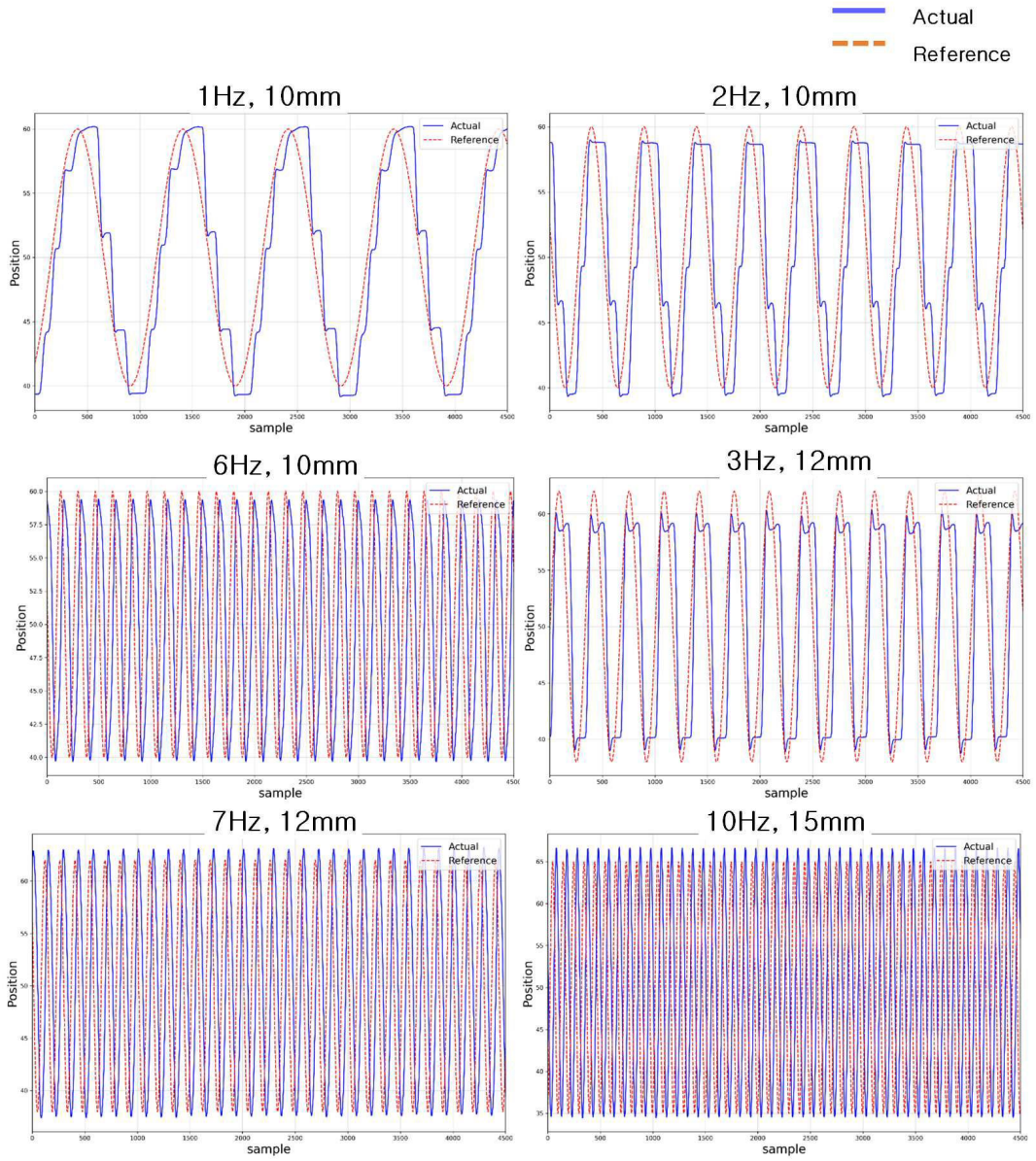
도면5


(a)
□: Training Set
: Test Set
displacement 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
frequency
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Data Set 1
(b)
□: Training Set
: Test Set
displacement 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
frequency
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Data Set 2

도면6


(a)
10mm
(b)
11mm
(c)
12mm
(d)
13mm
(e)
14mm
(f)
15mm
Actual_p1_gain
Predicted_p1_gain
P1 Gain
Frequency

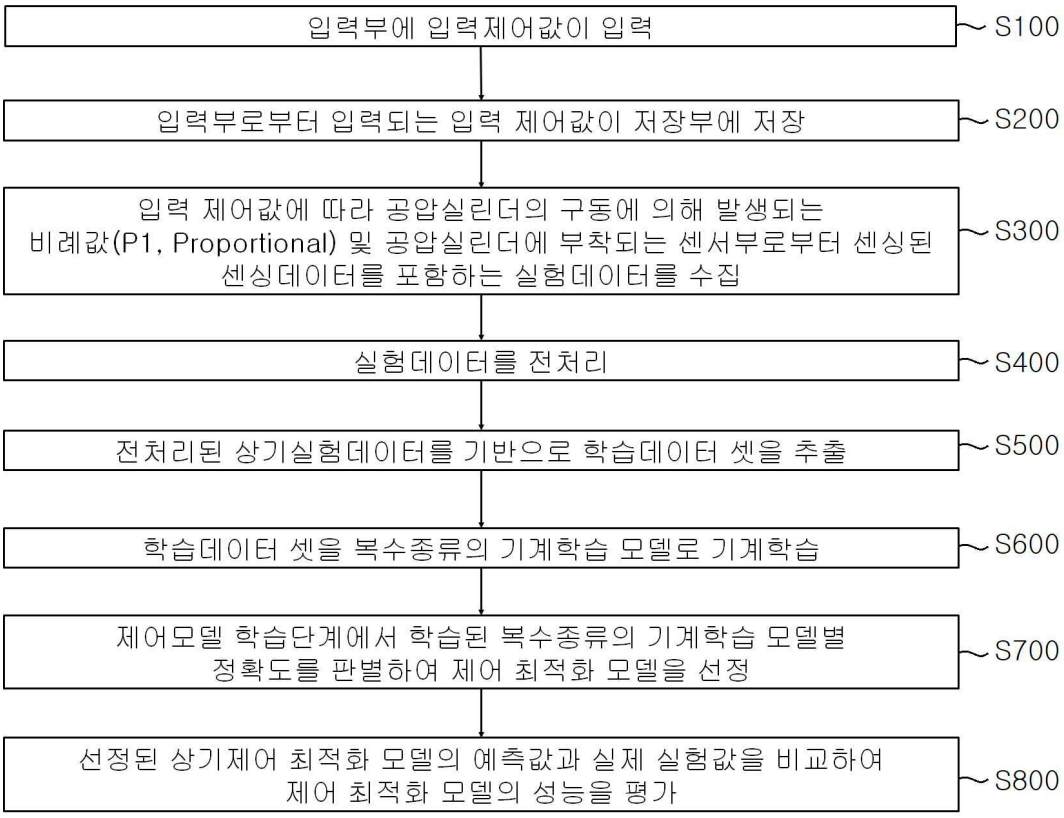
도면7



도면8

Frequency	Displacement	Optimal P_1	Without Model	Predicted P_1	With Model
1Hz	10mm	7.3	88sec	7	13sec
2Hz	10mm	5	65sec	5.4	15sec
3Hz	12mm	5.2	46sec	5.7	17sec
6Hz	10mm	4.2	25sec	4	8sec
7Hz	12mm	3.7	20sec	4	10sec
10Hz	15mm	3.5	19sec	3.7	7sec

도면9


입력부에 입력제어값이 입력
S100
입력부로부터 입력되는 입력 제어값이 저장부에 저장
S200
입력 제어값에 따라 공압실린더의 구동에 의해 발생되는 비례값(P1, Proportional) 및 공압실린더에 부착되는 센서부로부터 센싱된 센싱데이터를 포함하는 실험데이터를 수집
S300
실험데이터를 전처리
S400
전처리된 상기실험데이터를 기반으로 학습데이터 셋을 추출
S500
학습데이터 셋을 복수종류의 기계학습 모델로 기계학습
S600
제어모델 학습단계에서 학습된 복수종류의 기계학습 모델별 정확도를 판별하여 제어 최적화 모델을 선정
S700
선정된 상기제어 최적화 모델의 예측값과 실제 실험값을 비교하여 제어 최적화 모델의 성능을 평가
S800